

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 15 664 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:  
**H 02 K 1/27**  
H 02 K 15/03

②① Aktenzeichen: 199 15 664.6  
②② Anmeldetag: 7. 4. 1999  
②③ Offenlegungstag: 19. 10. 2000

DE 199 15 664 A 1

⑦① Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:  
Stülpnagel, Torsten, Dipl.-Ing., 97616 Bad Neustadt, DE;  
Potoradi, Detlef, Dipl.-Ing., 80689 München, DE;  
Vollmer, Rolf, Dipl.-Ing., 36129 Gersfeld, DE

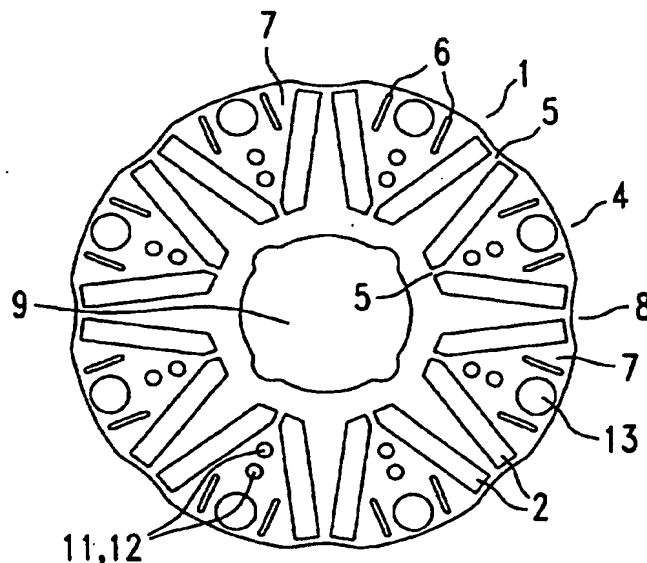
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
US 58 86 441  
US 57 86 650  
EP 05 82 721 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Elektrische Maschine mit einem Stator

⑤⑦ Elektrische Maschine mit einem Stator und zumindest einem aus Blechen (1) geschichteten Blechpaket (3) eines Rotors, das folgende Merkmale aufweist:  
- zumindest zwei unterschiedliche Blechschnitte der Bleche des Blechpakets (3),  
- zumindest die Bleche (1, 15) eines Blechschnitts sind mit Mitteln (11, 12) versehen, die insbesondere bei axialer Zusammensetzung der einzelnen Bleche (1) eine radiale Fixierung dieser Bleche (1, 15) innerhalb des Blechpakets (3) bewirken.



DE 199 15 664 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine mit einem Stator und zumindest einem aus Blechen geschichteten Rotorblechpaket.

In bisherigen elektrischen Maschinen, insbesondere permanent erregten Synchronmaschinen mit Flußkonzentration werden Magnete radial angeordnet, wobei sich zwischen den Magneten Polbleche zur Flußleitung befinden. Die Polbleche sind mit Hilfe von Bolzen miteinander zu einem Rotorblechpaket und mit der Welle über Endplatten verbunden. Außerdem wurde aus elektromagnetischen Gründen eine unmagnetische Welle verwendet, bzw. ein Luftspalt zwischen Welle und Läuferblechpaket vorgesehen, um einen Magnetfluß durch die Welle zu vermeiden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine auf kostengünstigste Art und Weise ein kompaktes Rotorblechpaket einer elektrischen Maschine zu schaffen, in das außerdem Permanentmagnete in Flußkonzentrationsanordnung eingebettet sind.

Die Lösung der gestellten Aufgabe gelingt durch eine elektrische Maschine mit einem Stator und zumindest einem aus Blechen geschichteten Rotorblechpaket, das folgende Merkmale aufweist:

- Zumindest zwei unterschiedliche Blechschnitte der Bleche des Rotorblechpakets,
- zumindest die Bleche eines Blechschnitts sind mit Mitteln versehen, die insbesondere bei axialer Zusammensetzung der einzelnen Bleche eine radiale Fixierung dieser Bleche innerhalb des Rotorblechpaketes bewirken.

Ein derartiges Rotorblechpaket einer elektrischen Maschine ist durch folgendes Verfahren herstellbar:

- Stanzpaketieren von Blechen unterschiedlicher Blechschnitte in einer vorgebbaren Reihenfolge, wobei dadurch zumindest eine vorgebbare Anzahl der Bleche mit Mitteln versehen werden, die eine radiale Fixierung der einzelnen Bleche und im Betrieb der elektrischen Maschine eine elektrodynamische Wechselwirkung mit dem Stator bewirken,
- Schrumpfung des Rotorblechpakets auf eine Rotorwelle.

Durch die Verwendung von Blechen unterschiedlicher Blechschnitte im Rotorblechpaket sind die erforderlichen elektromagnetischen Eigenschaften, vorzugsweise der Verlauf der Feldlinien besser als bei Verwendung eines einzelnen Blechschnittes herkömmlicher Synchronmaschinen mit Flußkonzentration einstellbar. Dadurch kann insbesondere der Verlauf der Feldlinien durch die Welle vermieden werden. Es sind somit Wellen aus magnetischem Material einsetzbar. Die Ausbildung der zum Luftspalt weisenden Kontur des Blechpakets ist vorzugsweise so ausgeführt, daß sich ein sinusförmiges Luftspaltfeld einstellt.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird die radiale Fixierung der Bleche innerhalb des Rotorblechpakets dadurch erreicht, daß eine vorgebbare Anzahl von Blechen mindestens eine Eindrückung und einen dazu korrespondierenden Vorsprung auf der Rückseite des jeweiligen Bleches aufweist. Diese Eindrückungen und Vorsprünge fügen sich beim Paketieren ineinander, so daß eine radiale Fixierung erreicht wird. Eine Beschränkung der Eindrückungen und Vorsprünge je Blech ist nicht vorgesehen; vorzugsweise sind jedoch pro Blech maximal zwei Eindrückungen oder Vorsprünge vorhanden. Auch die Form der Eindrückungen und

Vorsprünge ist keinen Grenzen unterworfen, so daß diese kreisförmig als auch oval ausgebildet sein können. Eine radiale Fixierung der Bleche ist auch durch hakenähnliche Ausbildung gewisser Teilabschnitte der Bleche zu erreichen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist das Rotorblechpaket in wesentlich axialer Richtung des Rotors Ausnehmungen für Permanentmagnete auf. Die Ausbildung der Ausnehmungen zur Aufnahme der Permanentmagnete ist derart gestaltet, daß sich eine Magnetenlänge ergibt, die größer als die halbe Polbreite (Polteilungslänge) ist.

D. h., die Länge  $l$  einer Ausnehmung ist größer als

$$\frac{d \cdot \pi}{4p}$$

wobei  $d$  der Durchmesser des Blechpakets und  $p$  die Polpaarzahl ist.

Die Streuteile sind mechanisch notwendig, aber magnetisch nachteilig. Die Flußsperrern beeinflussen die magnetische Wechselwirkung mit dem Stator. Sie verhindern eine vorzeitige Sättigung des Stators durch das Statorfeld. Alle Bleche haben auf der zum Luftspalt weisenden Seite eine Form, die ein sinusförmiges Luftspaltfeld ermöglicht und insbesondere nach folgender Formel gestaltet sind:

Vorzugsweise ist dabei die dem Luftspalt zugewandte Kontur des Läuferblech nach folgender Beziehung gewählt:

$$r_a(\varphi) = R_B - \frac{\delta_0}{\cos(p \cdot \varphi)}$$

wobei

$\varphi$  der Umfangswinkel

$r_a(\varphi)$  der Außenradius Läuferblech

$R_B$  der Ständerbohrungsradius

$\delta_0$  der engste Luftspalt in Polmitte und

$p$  die Polpaarzahl

ist.

Diese Formel gilt ausgehend von einer Polmitte. Ab einem vorgebbaren Winkel  $p \cdot \varphi$  wird der Radius  $r_a$  bis zur Pollücke ( $p \cdot \varphi = \pm 90^\circ$ ) konstant gehalten, der vorzugsweise zumindest in erster Näherung durch eine Tangente an der Pollücke angenähert werden kann. Dies verhindert, daß der Einbruch in die Pollücke zu groß wird. Das in der Pollücke verbleibende Blechmaterial, das durch die Kontur des Läuferblechs und Ausnehmungen definiert ist, wird möglichst dünn ausgeführt, um so die Magnetfeldstreuung im Läufer zu minimieren. Diese Verbindungsstelle weist eine Mindestdicke auf, um den bei Maximaldrehzahl entstehenden Fliehkräften der Magnete und Blechsegmente und den daraus resultierenden Tangentialspannungen im Läuferblechpaket entgegenzuwirken und sie aufnehmen zu können.

Damit wird auch in der q-Achse ein größerer Luftspalt erzeugt, der die Querinduktivität verringert. Dadurch wird eine weitere Optimierung des Drehmomentenverlaufs und eine Wirkungsgraderhöhung der elektrischen Maschine erreicht.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden die Permanentmagnete durch Einbringen einer aushärtbaren Masse oder durch Verstemmen eines oder mehrerer Bleche fixiert. Durch diese Fixierung werden die Teile des Rotors gegenüber Fliehkräften die bei hoher Drehzahl der elektrischen Maschine auftreten, unverrückbar gehalten.

Die Erfindung, sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gemäß Merkmal der Unteransprüche werden im folgenden anhand schematisch dargestellter Ausführungsbeispiele in der Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1 den Querschnitt eines einstückigen Bleches,  
 Fig. 2 den Querschnitt eines aus mehreren Blechlamellen  
 bestehenden Bleches,  
 Fig. 3 eine perspektivische Darstellung eines Rotorblech-

pakets.  
 Fig. 1 zeigt einen zur Achse einer elektrischen Maschine,  
 insbesondere einer permanentmagneterregten Synchronma-  
 schine mit Flußkonzentration punktsymmetrischen Blech-  
 schnitt eines Rotorblechs 1, mit im wesentlichen V-förmig  
 angeordneten Ausnehmungen 2, zur Aufnahme von nicht  
 näher dargestellten Permanentmagneten. Die Länge der je-  
 weiligen Ausnehmungen 2 und damit die Länge der einsetz-  
 baren Permanentmagnete ist größer als die halbe Polbreite.  
 Die Ausnehmungen 2 im Blechpaket 3 des Rotors sind im  
 wesentlichen sternförmig angeordnet. Zwischen den einzel-  
 nen Ausnehmungen 2 befinden sich in Achsnähe und an der  
 Außenkontur 4 des Blechs 1 Streustege 5. In den nach außen  
 weisenden kreissegmentähnlichen Blechabschnitten 7 befin-  
 den sich vorzugsweise als Materialausnehmungen gebildete  
 Magnetflußsperrungen 6, die die Querinduktivität reduzieren.  
 Eine weitere Reduzierung der Querinduktivität tritt durch  
 die Gestaltung der Außenkontur 4 des Blechpakets 3 auf, die  
 ein sinusförmiges Luftspaltfeld erzeugt. Die Magnetfluß-  
 sperren 6 können als Schlitze, gebogene Linien oder ande-  
 ren geometrischen Materialausnehmungen ausgebildet sein.  
 Weitere Materialausnehmungen 13 sind als Montagehilfe  
 und im Betrieb außerdem zur Lüftung des Blechpakets 3 des  
 Rotors geeignet. Außerdem wird durch die Materialausneh-  
 mungen 13, 6 das Trägheitsmoment des Rotors reduziert.

Im Bereich der an der Außenkontur 4 befindlichen Streu-  
 stege 5 ist die Außenkontur 4 des Blechpakets 3 so geformt,  
 daß sich ein nahezu sinusförmiges Erregerfeld im Luftspalt  
 erzeugen läßt. Im Blech 1 zentrisch angeordnet, ist eine  
 Ausnehmung 9 zur Wellendurchführung. Der Blechschnitt  
 kann dabei der Fixierung Welle-Blechpaket 3 angepaßt wer-  
 den (Warnschraumpfung, Pressung, etc.).

Fig. 2 zeigt zwei weitere Blechschnitte, die mit anderen  
 gleichartigen Blechen oder mit einem Blech nach Fig. 1  
 axial zusammengesetzt das Blechpaket 3 bilden. Dieser  
 Blechschnitt nach Fig. 2 hat einen inneren Stern 10, der  
 ebenfalls zentrisch angeordnet die Aussparung zur Wellen-  
 durchführung 9 zur Fixierung Welle-Blechpaket 3 aufweist.  
 In den nach außen weisenden Kreissegmenten 7 befinden  
 sich ebenso die Magnetflußsperrungen 6, in Form von Schlit-  
 zen, oder auch axialen Materialausnehmungen 13, die zur  
 Reduzierung der Querinduktivität und als Montagehilfe ge-  
 dacht sind. In Zusammenwirken dieses Blechschnitts mit  
 dem in Fig. 1 skizzierten Blechschnitt, werden Blechpakete  
 3 des Rotors paketi, die durch Eindrückungen 11 und Vor-  
 sprünge 12 ineinander greifen und so eine radiale Fixierung  
 des gesamten Blechpakets 3 bewirken.

Dabei sind vorzugsweise an den jeweiligen Stirnseiten  
 des Blechpakets 3 des Rotors die einstückigen Bleche 1  
 nach Fig. 1 vorgesehen. Durch die vorgebbare axiale Zu-  
 sammensetzung des Blechpakets 3 des Rotors wird eine  
 axiale Folge von einstückigen und mehrstückigen Blechen  
 erreicht, die eine Minimierung der Streustege 5 bezüglich  
 der axialen Länge des Blechpakets 3 bewirken. Es wird also  
 je nach Zusammensetzung des Blechpakets 3 eine Reduzie-  
 rung der Streustege 5 im Bereich der Außenkontur 4 und der  
 nach innen weisenden Streustege 5 in Richtung Achse, um  
 einen vorgebbaren Faktor x erreicht.

Die axiale Zusammensetzung kann auch innerhalb eines  
 Blechpakets variieren um insbesondere mechanische Vorga-  
 ben z. B. der Steifigkeit einzuhalten.

1. Elektrische Maschine mit einem Stator und zumin-  
 dest einem aus Blechen (1) geschichteten Blechpaket  
 (3) eines Rotors, das folgende Merkmale aufweist:

- zumindest zwei unterschiedliche Blechschnitte der Bleche des Blechpakets (3),
- zumindest die Bleche (1, 15) eines Blechschnitts sind mit Mitteln (11, 12) versehen, die insbesondere bei axialer Zusammensetzung der einzelnen Bleche (1) eine radiale Fixierung dieser Bleche (1, 15) innerhalb des Blechpaketes (3) bewirken.

2. Elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine vorgebbare Anzahl von Blechen (1, 15) mindestens eine Eindrückung (11) und einen dazu korrespondierenden Vorsprung (12) auf der Rückseite des jeweiligen Bleches (1, 15) aufweist.

3. Elektrische Maschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Blechpaket (3) des Rotors bezüglich seiner axialen Zusammensetzung einstückige und mehrstückige Bleche (1, 15) in einer vorgebbaren Reihenfolge aufweist.

4. Elektrische Maschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Blechpaket (3) des Rotors Ausnehmungen (2) für Permanentmagnete aufweist.

5. Elektrische Maschine nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die einstückigen Bleche (1) Streustege (5) im Bereich elektromagnetisch korrespondierender Ausnehmungen (2) aufweisen.

6. Elektrische Maschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der radial weiter außen liegender Streustege (5) am Umfang zumindest der einstückigen Bleche (1) Mittel (8) vorgesehen sind, die ein sinusförmiges Erregerfeld erzeugen.

7. Elektrische Maschine nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Permanentmagnete durch Einbringen einer aushärtbaren Masse und/oder durch Verstemmen mindestens eines Bleches fixierbar sind.

8. Verfahren zur Herstellung eines Blechpakets (3) des Rotors einer elektrischen Maschine nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Stanzpaketieren von Blechen (1, 15) unterschiedlicher Blechschnitte in einer vorgebbaren Reihenfolge, wobei dadurch zumindest eine vorgebbare Anzahl der Bleche (1, 15) mit Mitteln (11, 12) versehen werden, die eine radiale Fixierung der einzelnen Bleche (1, 15) und im Betrieb der elektrischen Maschine eine elektrodynamische Wechselwirkung mit dem Stator bewirken,
- Einsetzen der Permanentmagnete
- Fixierung des Blechpakets (3) auf einer Rotorwelle.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß als Mittel zur radialen Fixierung der Bleche (1, 15) Eindrücke (11) und korrespondierende Vorsprünge (12) gestanzt werden.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

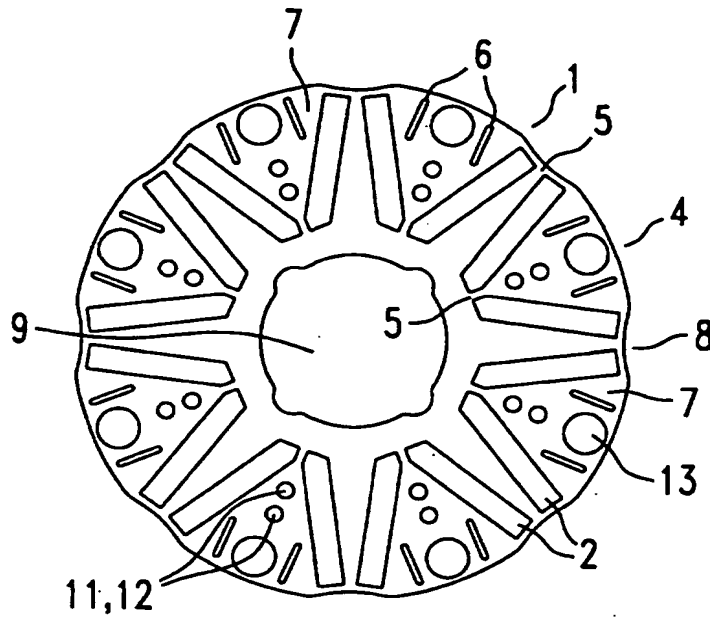


FIG 1

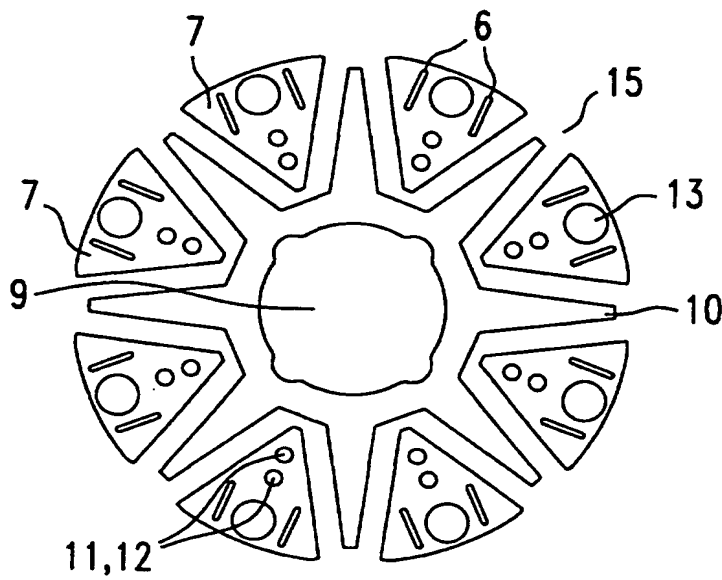


FIG 2

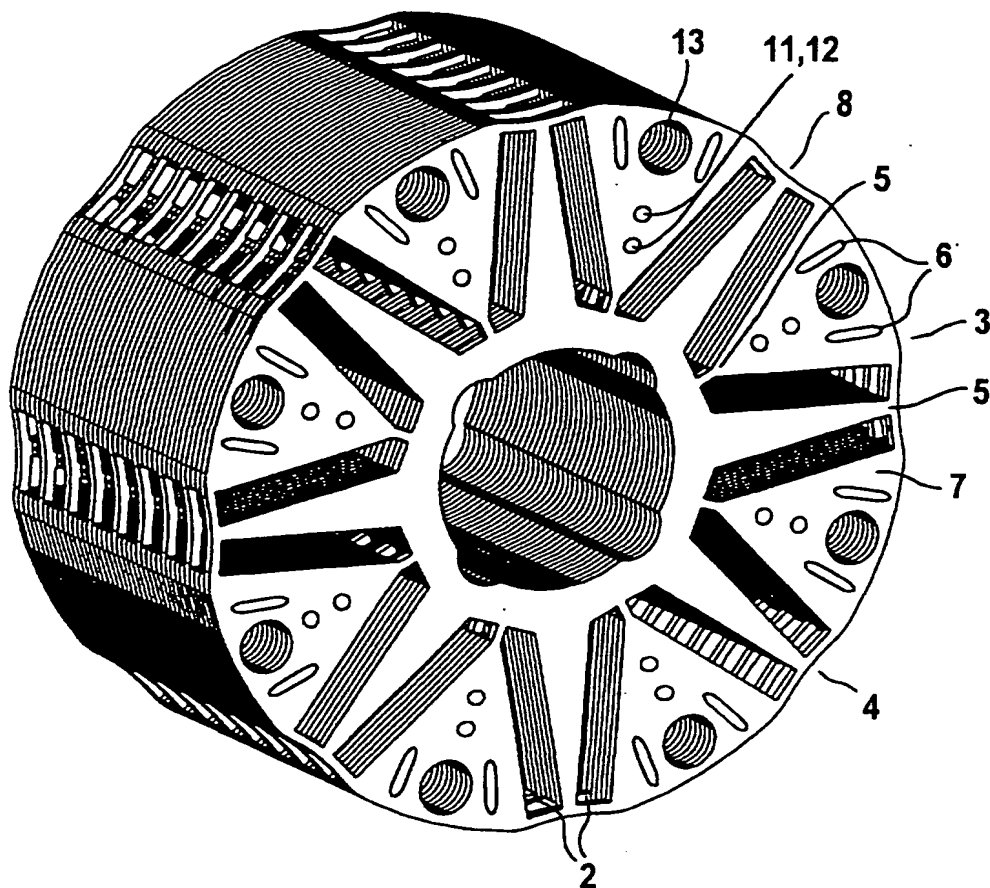


FIG 3